



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
08.09.2010 Patentblatt 2010/36

(51) Int Cl.:
F03D 9/00 (2006.01) H02J 3/18 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **10002090.8**

(22) Anmeldetag: **02.03.2010**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA ME RS

(30) Priorität: **02.03.2009 DE 102009011053**

(71) Anmelder: **BTC Business Technology Consulting AG**
26121 Oldenburg (DE)

(72) Erfinder:
• **Wittek, Thomas**
26386 Wilhelmshaven (DE)
• **Guo, Xin Dr.**
13591 Berlin (DE)

(74) Vertreter: **Lenzing, Andreas**
Lenzing Gerber Stute
Partnerschaftsgesellschaft von Patentanwälten
Postfach 20 05 09
40103 Düsseldorf (DE)

(54) **Windparkregler**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung der Blindleistung eines wenigstens zwei Windenergieanlagen (i) umfassenden Windparks mit folgenden Schritten:

- Vorgabe eines die Blindleistung des Windparks kennzeichnenden Sollwertes (w)
- Abfrage von aktuellen Werten der individuellen Blindleistung (q(i)) und der individuellen Wirkleistung (p(i)) der einzelnen windenergieanlagen,
- Berechnen der zu erwartenden Blindleistung (Q_{nap}) und Wirkleistung (P_{nap}) am Netzanschlusspunkt mittels einer Lastflussberechnung aus den Werten p(i) und g(i),
- Berechnen der Abweichung der zu erwartenden Blind-

leistung (Q_{nap}) von dem Sollwert (w) und d1) wenn die Abweichung größer als ein Grenzwert (x) ist, Berechnen eines stellwertes (u), der zur Verringerung der Abweichung ausgegeben werden soll, und weiter zum Schritt e), oder d2) wenn die Abweichung kleiner oder gleich dem Grenzwert (x) ist, Ausgabe des Stellwertes (u) an den Windpark und zurück zum Schritt a).

e) Berechnen der Blindleistung q(i) und der Wirkleistung p(i), die sich aufgrund des Stellwertes (u) an den Windenergieanlagen ergeben würden, und Weiterverarbeiten dieser berechneten Werte q(i) und p(i) im Schritt c).

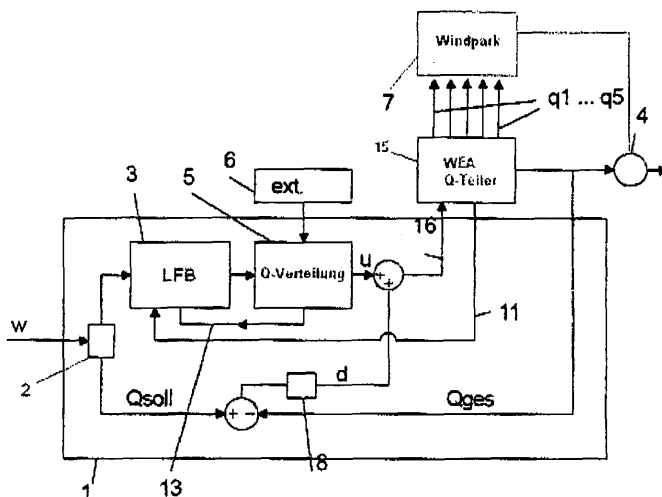


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Regler für einen Windpark mit mehreren Windenergieanlagen mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1.

[0002] Windparks sind Gruppen von Windenergieanlagen, die die erzeugte elektrische Energie gemeinsam an einen Netzananschlusspunkt abgeben. Bezüglich des elektrischen Netzes sind Netzananschlussregeln festgelegt, die bestimmen, wie sich der Windpark am Versorgungsnetz verhalten muss. Zu diesen Netzananschlussregeln gehören insbesondere das Verhalten beim Einschalten des Windparks, die Bereitstellung von Blindleistung, die Wirkleistungsabgabe sowie das Verhalten bei Störungen.

[0003] Die Aufgaben der Windparkregelung bestehen darin, die Einhaltung der Netzananschlussregeln am Netzananschlusspunkt zu gewährleisten sowie die Vorgaben für die zu erzeugende Wirkleistung und die bereitzustellende Blindleistung umzusetzen. Dabei soll durch eine Leistungsfaktorregelung eine Optimierung des Energieertrags erfolgen.

[0004] In der Praxis werden bei Windparks die vielfältigen Regelaufgaben aufgeteilt. Ein Oberregler gibt den einzelnen Windenergieanlagen die Sollwerte für die Wirkleistung und die Blindleistung vor. Jede Windenergieanlage besitzt einen individuellen Unterregler, der elektrisch und mechanisch die Windenergieanlage so einregelt, dass diese Vorgaben eingehalten werden.

[0005] Aus der Druckschrift DE 10 2007 036 444 A1 ist es bekannt, in einem Windpark die angeforderte Leistung auf Windenergieanlagen mit individuell unterschiedlichen Maximalleistungen zu verteilen. Eine übergeordnete Steuerung berechnet und /oder empfängt einen aktuell maximal zulässigen Wert für diese elektrische Größe. Eine Lastflussrechnung findet nicht statt. Vielmehr wird die maximale Gesamtleistung als einfache Summe der Einzelleistungen ermittelt. Das Verfahren aus diesem Dokument ist nicht für eine Blindleistungsregelung vorgesehen und auch nicht dafür geeignet.

[0006] Aus der Druckschrift WO 2006/037576 A1 ist ein Windpark mit einer Blindleistungsregelung bekannt, bei dem die Blindleistungsregelung als verteilter Regler ausgeführt ist. Ein Oberregler ist zur Einstellung eines globalen Leistungskoeffizienten der in das Energieübertragungsnetz abgegebenen Leistung so eingerichtet, dass ein Blindleistungssollwert für jede Windkraftanlage ermittelt und als Signal abgegeben wird. Jede einzelne Windenergieanlage verfügt über einen Unterregler, der durch eine Regelung den vorgegebenen Blindleistungssollwert an der Einspeisung am Turmfuß der Windkraftanlage einhält.

[0007] Es ist die Aufgabe des Windparkreglers, Vorgaben in geeigneter Form für die einzelnen Unterregler der Windkraftanlagen zu ermitteln, um einerseits die Einhaltung der Netzananschlussregeln zu gewährleisten und auf der anderen Seite den maximalen Ertrag des Windparks zu ermöglichen.

[0008] Diese Aufgabe wird durch einen Regler mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0009] Weil bei einem Verfahren zur Regelung der Blindleistung eines wenigstens zwei Windenergieanlagen (i) umfassenden Windparks folgende Schritte vorgesehen sind:

- a) Vorgabe eines die Blindleistung des Windparks kennzeichnenden Sollwertes (w)
 - b) Abfrage von aktuellen Werten der individuellen Blindleistung ($q(i)$) und der individuellen Wirkleistung ($p(i)$) der einzelnen Windenergieanlagen,
 - c) Berechnen der zu erwartenden Blindleistung (Q_{nap}) und Wirkleistung (P_{nap}) am Netzananschlusspunkt mittels einer Lastflussberechnung aus den Werten $p(i)$ und $q(i)$,
 - d) Berechnen der Abweichung der zu erwartenden Blindleistung (Q_{nap}) von dem Sollwert (w) und d1) wenn die Abweichung größer als ein Grenzwert (x) ist, Berechnen eines Stellwertes (u), der zur Verringerung der Abweichung ausgegeben werden soll, und weiter zum Schritt e), oder d2) wenn die Abweichung kleiner oder gleich dem Grenzwert (x) ist, Ausgabe des Stellwertes (u) an den Windpark und zurück zum Schritt a).
 - e) Berechnen der Blindleistung $q(i)$ und der Wirkleistung $p(i)$, die sich aufgrund des Stellwertes (u) an den Windenergieanlagen ergeben würden, und Weiterverarbeiten dieser berechneten Werte $q(i)$ und $p(i)$ im Schritt c),
- wird das Ziel erreicht, die Netzananschlussregeln am Netzananschlusspunkt einzuhalten und auch den Wirkungsgrad des gesamten Windparks zu optimieren.

[0010] Wenn weiter im Schritt d2) nach der Ausgabe des Stellwertes (u) an den Windpark die tatsächlich erzeugte Blindleistung (Q_{nap}) am Netzananschlusspunkt mit einer aus dem Sollwert (w) ermittelten geforderten Blindleistung (Q_{soll}) verglichen wird und die Abweichung als Störgröße (d) auf einen Nachregler (8) gegeben wird, ist eine sehr präzise Regelung mit geringem Nachregelbedarf möglich.

[0011] Wenn zwischen den Windenergieanlagen und der übergeordneten Steuerung wenigstens ein Transformator vorgesehen ist, ist es mit dem erfindungsgemäßen Verfahren dennoch möglich, die Blindleistung in Echtzeit zu regeln, wobei eine Regelfrequenz im Bereich von 1 Hz oder weniger ausreichend ist.

[0012] Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung anhand der Zeichnung näher beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1: den erfindungsgemäßen Windparkregler in einem Blockschaltbild;

Fig. 2: den Ablauf einer Lastflussberechnung aus dem Regler nach Fig. 1 als Ablaufdiagramm;

Fig. 3: eine typische Kennlinie eines Windparktransformators; sowie

Fig. 4: einen Windpark, der über einen Transformator an das Hochspannungsnetz angeschlossen ist.

[0013] In der Fig. 1 ist der Regler für einen Windpark mit den Ein- und Ausgangsgrößen als Blockdiagramm veranschaulicht. Der Regler erhält an seiner Eingangsseite, in der Fig. 1 links, die aus dem Netzbetrieb vorgegebene Führungsgröße w . Diese Führungsgröße w ist im Allgemeinen der Leistungsfaktor $\cos \varphi$, der an einem Netzanschlusspunkt erzielt werden soll. Der gesamte Regler ist innerhalb der Box 1 skizziert. Aus der Führungsgröße w wird zunächst in einer Eingangsstufe 2 der Sollwert Q_{SOLL} der Blindleistung des angeschlossenen Windparks ermittelt. Dieser wird später mit der tatsächlich erzeugten gesamten Blindleistung Q_{CES} verglichen. **[0014]** Die Führungsgröße w wird auf eine Lastflussberechnung 3 gegeben. Die Lastflussberechnung 3 ermittelt iterativ die erforderliche Blindleistung, die an einem Netzanschlusspunkt 4 vorliegen muss, um die Führungsgröße w und den Sollwert der Blindleistung Q_{SOLL} auszuregeln. Die Lastflussberechnung 3 wird unten anhand der Fig. 2 näher beschrieben.

[0015] Das Ergebnis der Lastflussberechnung 3 ist eine berechnete Blindleistung und wird als Eingangsgröße an eine Blindleistungsverteilung 5 übergeben. Die Blindleistungsverteilung 5 erhält als weitere Eingangsgrößen außerdem Informationen über externe Faktoren 6. Anhand dieser Eingangssignale ermittelt die Blindleistungsverteilung 5 rechnerisch, welche individuellen Blindleistungen $q_1 \dots q_n$ die Windkraftanlagen 1 bis n eines Windparks 7 zur Verfügung stellen müssen, um am Netzanschlusspunkt 4 die gewünschte Gesamtblindleistung Q_{CES} verfügbar zu machen. In der Figur 1 wird von fünf Windkraftanlagen ausgegangen, es gilt also $n = 5$.

[0016] Die Vorgaben für die Blindleistungen $q_1 \dots q_n$ werden dann als Stellwert u an den Windpark 7 abgegeben. Zur weiteren Regelung wird innerhalb des Reglers 1 die am Netzanschlusspunkt 4 anstehende Gesamtblindleistung Q_{ges} gemessen und die Differenz zu dem Sollwert Q_{soll} aus der Eingangsstufe 2 gebildet. Diese Differenz wird auf einen Nachregler 8 gegeben, der eine Störgröße d ausgibt. Die Störgröße d wird schließlich zu dem Stellwert u addiert und die Summe über die Steuerung 16 als Regelgröße an den Windenergieanlagen - Q-Verteiler weitergeleitet.

[0017] Dabei ist angestrebt, durch die Lastflussberechnung 3 diese Vorgabe bereits so genau zu ermitteln, dass die erforderliche Nachregelung über die Störgröße d minimal ist. Der Windparkregler 1 ist als Oberregler ausgeführt. Er gibt nur Sollwerte für die Blindleistungsanforderung $q_1 \dots q_n$ an die Windkraftanlagen 1 - n ab. Die interne mechanische und elektrische Regelung der individuellen Windkraftanlage erfolgt durch den dort vorgesehenen Unterregler, ohne dass der Oberregler hier

weitere Regelungsaufgaben zu übernehmen hat.

[0018] Die Fig. 2 zeigt den Ablauf der Lastflussberechnung 3 in einem Ablaufdiagramm. Die Lastflussberechnung 3 erhält zum Einen die Blindleistungsvorgabe w und zum Anderen die aktuellen Messwerte $p(i)$ und $q(i)$ für die Wirk- und Blindleistung jeder einzelnen Windkraftanlage $i = 1 \dots n$. Aus diesen Werten wird mathematisch der sich ergebende Wert für die Gesamt-Wirkleistung P_{nap} und Gesamt-Blindleistung Q_{NAP} am Netzanschlusspunkt 4 berechnet.

[0019] Im nächsten Schritt wird der errechnete Wert Q_{nap} für die gesamte Blindleistung am Netzanschlusspunkt 4 mit dem Blindleistungssollwert w verglichen und eine Differenz x ermittelt.

[0020] Ist die Differenz x größer als ein Schwellwert z , so gilt der Blindleistungssollwert mit den vorgegebenen $p(i)$ und $q(i)$ als nicht erreicht. Dies ist der nachfolgende Fall 1.

[0021] Ist die Differenz x kleiner als z , so gilt der Blindleistungssollwert mit den vorgegebenen $p(i)$ und $q(i)$ als erreicht. Dies ist der nachfolgende Fall 2.

Fall 1

[0022] Im Fall 1 wird die ermittelte Differenz x zwischen w und Q_{NAP} im nächsten Schritt 14 rechnerisch verteilt auf die verschiedenen Windkraftanlagen 1 ... n als eine rein rechnerische Vorgabe, die dann über die Leitung 13 an Stelle der real gemessenen Blindleistungswerte $q_1 \dots q_n$ in die Berechnung der Gesamt-Wirkleistung P_{nap} und Gesamt-Blindleistung Q_{nap} gegeben wird. Die Lastflussberechnung wird dann mit den berechneten Blindleistungen erneut durchgeführt, um zu ermitteln, ob die im Schritt 14 berechnete Änderung zu dem gewünschten Q_{nap} führt, also die Differenz x zwischen w und Q_{nap} kleiner als z wird.

[0023] Dieses iterative Verfahren wird so lange durchgeführt, bis sich der aus der Lastflussberechnung ergebende, theoretisch zu erwartende Blindleistungswert Q_{NAP} dem Sollwert w genügend angenähert hat. Erst dann ist der Fall 2 erreicht.

Fall 2

[0024] Im Fall 2 werden die während der Iteration berechneten Vorgaben $q_1 \dots q_n$ an die Windkraftanlagen 1 ... n abgegeben. Der zuvor errechnete Wert Q_{nap} wird sich dann als Gesamtblindleistung Q_{ges} bis auf geringfügige Abweichungen innerhalb der zulässigen Toleranz z am Netzanschlusspunkt 4 einstellen.

[0025] Die Nachregelung der gegebenenfalls entstehenden Abweichung x erfolgt in der Fig. 1 durch den Nachregler 8. Eine solche Nachregelung wird erforderlich sein, weil die physikalischen Gegebenheiten innerhalb der Windkraftanlage und in dem elektrischen Pfad zwischen jeder Windkraftanlage und dem Netzanschlusspunkt nicht mit absoluter Genauigkeit vorherzusagen sind. Diese Gegebenheiten sind in der Fig. 1 als externe

Faktoren 6 bereits berücksichtigt. Eine neue Vorgabe w führt dann zu einem neuen Start des Regelungsvorgangs.

[0026] In der Fig. 3 ist die Blindleistung Q_T des Transformators über seine normierte Scheinleistung S_T dargestellt. Der Zusammenhang zwischen der Scheinleistung S_T und der Blindleistung Q_T ist bekannt, aber nicht linear. Diese Kennlinie ist für jeden Windpark ein individuelles Merkmal und beeinflusst die Blindleistungsregelung eines Windparks wesentlich. Gemäß Fig. 4 gilt $Q_W = Q_{\text{soll}} - Q_T$ (Q_T ist abhängig von S_T), wobei Q_W die erforderliche Blindleistung an den Windkraftanlagen ($Q_W = q_1 + q_2 + \dots + q_n$) darstellt ist. Ziel des beschriebenen Regelungsverfahrens ist es, die erforderliche Blindleistung an der Windkraftanlage im Voraus so genau zu berechnen und vorzugeben, dass der Einfluss durch die Blindleistung des Transformators Q_T eliminiert wird. Ein Nachregelungsbedarf ergibt sich praktisch nur in einem sehr kleinen, als linear zu betrachtenden Bereich.

[0027] Das erfindungsgemäße Verfahren, bei dem eine Lastflussberechnung die erforderliche Blindleistung $q(i)$ für jede einzelne Windkraftanlage i iterativ berechnet und die sich ergebende Gesamtblindleistung Q_{nap} mit dem Vorgabewert w abgleicht, bevor der Stellwert an die einzelnen Windkraftanlagen abgegeben wird, minimiert den Regelungsbedarf innerhalb der einzelnen Windkraftanlagen, also innerhalb jedes einzelnen Unterreglers.

[0028] Dadurch wird das Ziel erreicht, die Netzanschlussregeln am Netzanschlusspunkt einzuhalten und auch den Wirkungsgrad des gesamten Windparks zu optimieren.

(u) an den Windpark und zurück zum Schritt a).
e) Berechnen der Blindleistung $q(i)$ und der Wirkleistung $p(i)$, die sich aufgrund des Stellwertes (u) an den Windenergieanlagen ergeben würden, und Weiterverarbeiten dieser berechneten Werte $q(i)$ und $p(i)$ im Schritt c).

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Schritt d2) nach der Ausgabe des Stellwertes (u) an den Windpark die tatsächlich erzeugte Blindleistung (Q_{nap}) am Netzanschlusspunkt mit einer aus dem Sollwert (w) ermittelten geförderten Blindleistung (Q_{soll}) verglichen wird und die Abweichung als Störgröße (d) auf einen Nachregler (8) gegeben wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schritt c) in einer übergeordneten Steuerung erfolgt, wobei zwischen den Windenergieanlagen und der übergeordneten Steuerung wenigstens ein Transformator vorgesehen ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung der Blindleistung eines wenigstens zwei Windenergieanlagen (i) umfassenden Windparks mit folgenden Schritten:

- a) Vorgabe eines die Blindleistung des Windparks kennzeichnenden Sollwertes (w)
- b) Abfrage von aktuellen Werten der individuellen Blindleistung ($q(i)$) und der individuellen Wirkleistung ($p(i)$) der einzelnen Windenergieanlagen,
- c) Berechnen der zu erwartenden Blindleistung (Q_{nap}) und Wirkleistung (P_{nap}) am Netzanschlusspunkt mittels einer Lastflussberechnung aus den Werten $p(i)$ und $q(i)$,
- d) Berechnen der Abweichung der zu erwartenden Blindleistung (Q_{nap}) von dem Sollwert (w) und
 - d1) wenn die Abweichung größer als ein Grenzwert (x) ist, Berechnen eines Stellwertes (u), der zur Verringerung der Abweichung ausgegeben werden soll, und weiter zum Schritt e), oder
 - d2) wenn die Abweichung kleiner oder gleich dem Grenzwert (x) ist, Ausgabe des Stellwertes

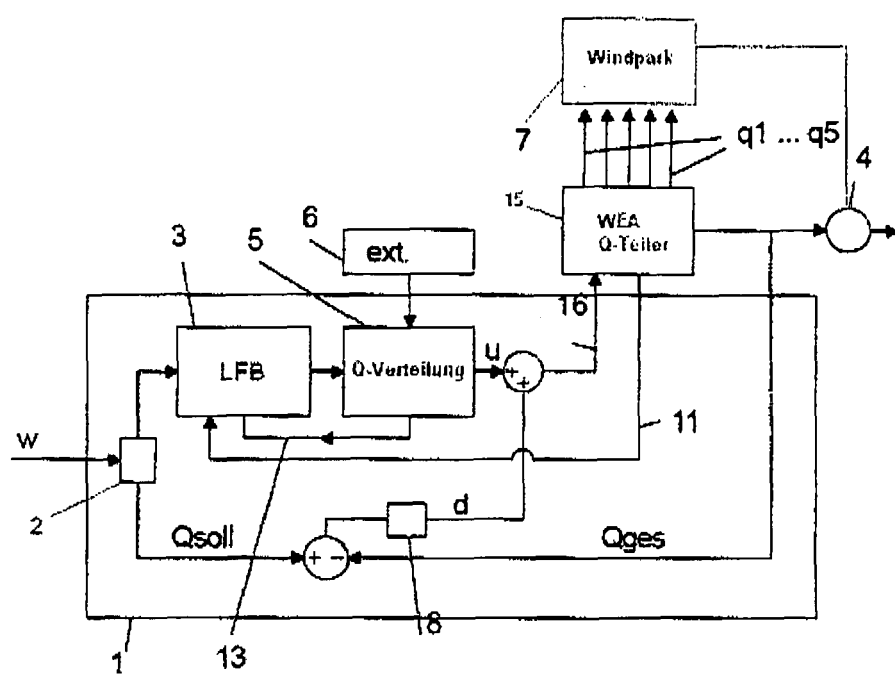
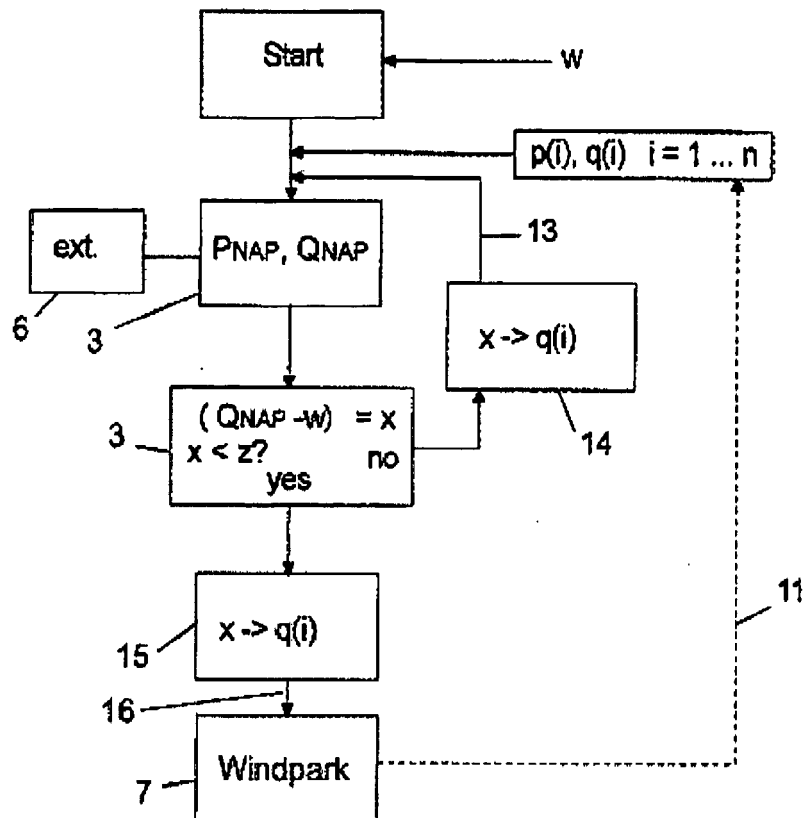


Fig. 1

**Fig. 2**

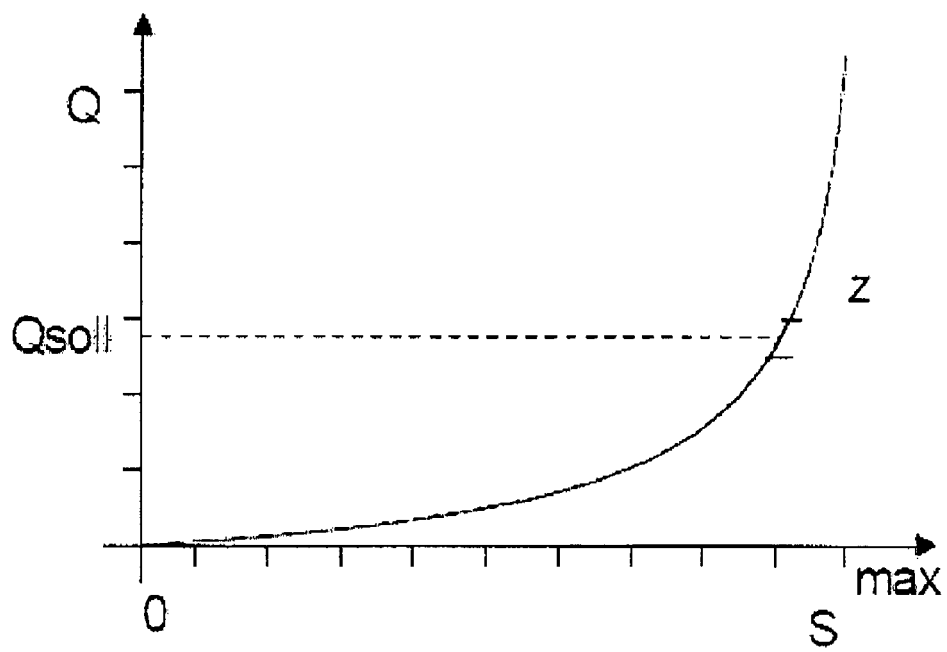


Fig. 3

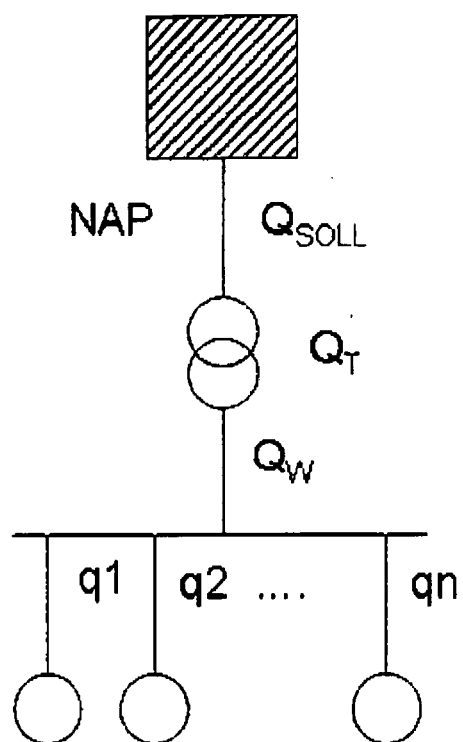


Fig. 4

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102007036444 A1 [0005]
- WO 2006037576 A1 [0006]